

Improvement of PET imaging by using single event information(シングルイベント情報の利用によるPET画像の改善)

著者	Mario Rodriguez Bosquez
号	3154
発行年	2003
URL	http://hdl.handle.net/10097/8426

氏 名	マリオ ロドリゲス ボスケス
授 与 学 位	Mario Rodriguez Bosquez 博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 量子エネルギー工学専攻
学 位 論 文 題 目	Improvement of PET Imaging by Using Single Events Information
指 導 教 官	東北大学教授 石井 慶造
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 Galster Wilfried 東北大学教授 大津 浩 東北大学教授 北村 正晴 東北大学教授 伊藤 正敏 東北大学助教授 山崎 浩道 (医学研究科)

論 文 内 容 要 旨

Introduction

Positron Emission Tomography (PET) imaging is based on detecting in coincidence two γ rays emitted from the annihilation positron-electron. This is called a coincidence event. The positrons come from a radiopharmaceutical injected to the patient's bloodstream. The probability that the one of the γ rays will undergo photoelectric effect or Compton Scattering within the image body is very high. In this case one of the photons will not be detected, thus that it produces a non-coincidence event. Therefore, each individual detector counts γ rays coming from coincidence and non-coincidence events. The total amount of photons counted by an individual detector in a PET scanner is called single events. Nowadays, single event information is used only for random coincidences correction. This work aims to extract more useful information from single events and achieve image improvement.

Image reconstruction

There are several image reconstruction techniques in PET imaging. In this work we use two of the most popular methods: Filtered Backprojection (FBP) and Maximum Likelihood Expectation Maximization (ML-EM). It is well known that the iterative reconstruction by ML-EM suffers the disadvantage of producing noisy images if the reconstruction process is not stopped at an optimum number of iterations. This work introduces a technique to properly stop the ML-EM algorithm and therefore avoid noisy images.

Comparison between measured and calculated single events

In order to utilize the single events, in this work we compare the measured single data M^d with the expected one for each detector d . Since the positron distribution generates both coincidence and single events, we

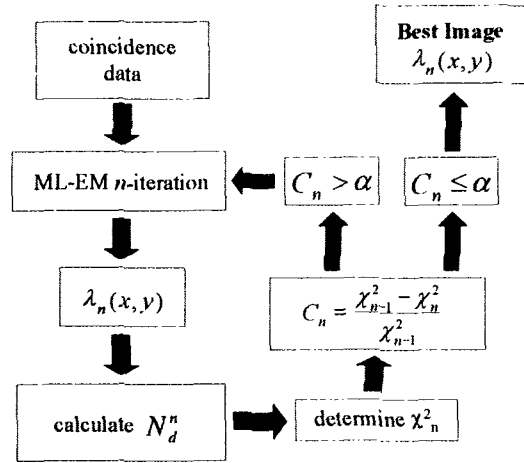
estimate the single events N_n^d from the reconstructed coincidence image after each ML-EM iteration n .

This comparison is performed by defining a chi-square parameter expressed as $\chi_n^2 = \sum_{d=1}^D \frac{(M^d - N_n^d)^2}{N_n^d}$,

where D is the total number of individual detectors. This parameter provides useful information about the convergence of the coincidence image.

Schematic of a new stopping rule

The stopping rule is illustrated in this flow chart. It is based on finding the reconstructed image that accurately reproduces the measured single events spectrum. The factor C_n represents the chi-square variation from the iteration $n-1$ to n . Therefore, it is clear that we propose to stop the reconstruction process when the variation of the chi-square parameter reaches a certain percentage that we consider negligible.



Experimental procedure

The measurements designed to investigate the possibility to improve PET images using single events are performed with the PET scanner ECAT 931 (CTI, Inc.). Three different phantoms are measured to obtain coincidence and single data sets. Image reconstruction of the measured data sets under the proposed stopping rule is carried out and information on image quality is obtained from comparison between calculated and measured singles events.

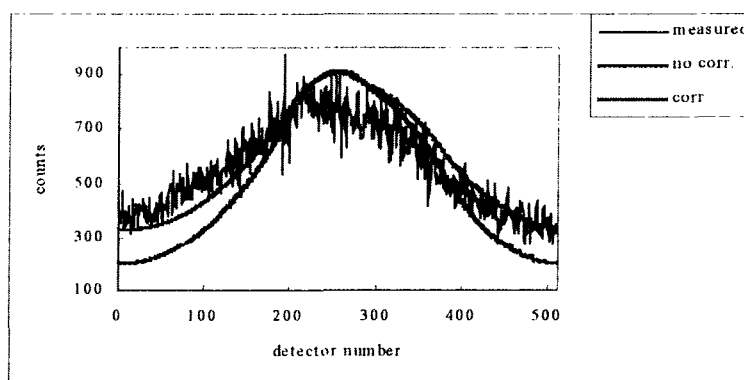
Results of the stopping rule

It is demonstrated that the stopping rule previously sketched can be successfully applied to the ML-EM reconstructions of the phantom measurements performed for this research. Regardless the activity distribution in three phantoms, $\alpha = 0.03$ gives good estimations of the optimum number of iterations. This α value suggests that the iterative reconstruction process should be stopped when the variation of the chi-square is 3% or less. It is known that activity estimation for larger objects converge faster than for smaller objects. Therefore, the results of this stopping rule show a fairly good trade off among objects of different sizes. It means that at the optimum n the larger objects are not too degraded and the smaller

objects have reached approximately 90% of the convergence value.

Image improvement using single events

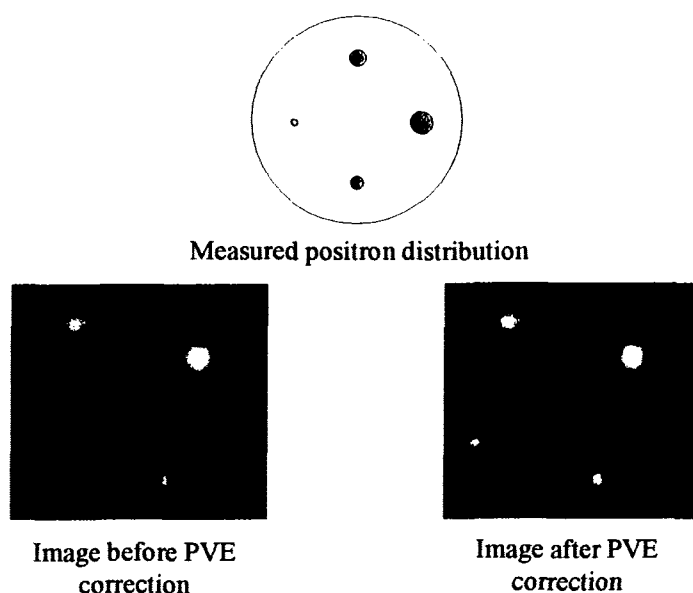
It is noted a very interesting situation when comparing the measured single events spectrum with the calculated one. The calculated single event spectrum is very sensitive to partial volume effect (PVE). This degrading effect produces underestimation of positron activity distribution for objects whose size is smaller than three times the image resolution provided by the scanner and the reconstruction algorithm. Thus, those objects that are underestimated do not contribute to the calculated singles, while they affect the measured singles. Therefore, the comparison between measured and calculated singles shows immediately the degree of degradation experienced due to PVE. Consequently, this comparison provides valuable information on how important is to correct for PVE. It is shown in the following graphic the comparison between the single spectrum measured ("meas") with the PET scanner ECAT 931 and the calculated one without ("no corr.") and with PVE correction ("corr.").



This graphics represent the single events vs the detector number. The line "measured" is the single events measured by the PET scanner. "no corr." is the calculated singles without PVE correction and "corr. " is the calculated singles after PVE correction

If the reconstructed image is not corrected for PVE, the calculated singles do not reproduce the tails of the measured spectrum. Therefore, we conclude that even though this new stopping rule provides an optimum n , the comparison among measurements and calculations inform that the quality of the image is not good. We perform the PVE correction. Both tails on the calculated single events spectrum after PVE correction ("corr.") are closer to the measured single spectrum. The improvement achieved in the reconstructed image can be visually evaluated in the figure placed in page 4. This figure shows the real distribution of positron

emitters in one of our phantoms (top) compared to its reconstructed images without PVE correction (bottom-left) and with PVE correction (bottom-right). The smaller hot spot in the phantom is not recovered at all without PVE correction. We believe this is the main reason why the calculated single spectrum does not match the measured one before PVE correction. Probably having large objects very close to small structures hides the sensitivity of the single events to PVE. Nevertheless, in whole body imaging there are cases where a few small hot spots are located far enough from the larger objects. In this case the single events can provide useful information about the non-recovered objects thus that PVE is indispensable in order to carry out accurate quantitative analysis.



Concluding remarks

The main conclusion that can be taken from this work is that single event information is a useful data that provides valuable information that can be directly utilized to improve the quality of PET imaging. For this purpose, we first introduced a new stopping rule based on the single event data. This stopping rule proved to provide good estimations of the optimum number of iterations needed in order to avoid noisy images. In addition it showed to be stable within a large range of coincidence counts. We detected that the calculated single events are very sensitive to PVE and that this sensitivity can be exploited towards the improvement of the reconstructed PET image. Large disagreements between measured and calculated singles inform that PVE correction is needed to recover small objects.

論文審査結果の要旨

陽電子放出核種で標識した薬剤を人体に投与し、放出陽電子と電子との対消滅によって発生する 1 対のガンマ線を同時計数することにより、人体の器官の機能画像を与える陽電子断層撮影装置 Positron Emission Tomography(PET)は、がんの早期発見、心臓病の診断に有効であり、近年、世界的に普及されるようになってきた。PET 装置では、対消滅によって発生する 1 対のガンマ線の測定データが用いられているが、放出された 2 本の γ 線のうち、一方が被写体内で吸収、又は PET 装置の視野外に散乱される場合、もう一方だけが検出、つまりシングルイベントとしてカウントされる。このシングルイベントは、同時計数より非常に高いカウントであるが、直接画像再構成に使うことが出来ないで、PET データ処理において無用なイベントとして捨てられている。著者は、このシングルイベントの有効利用に着目し、シングルイベントを用いた逐次近似法に基づいた PET 画像の改善方法を開発し、それに対する評価を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全文 7 章よりなる。

第 1 章は、序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。

第 2 章では、PET 測定に用いられている対消滅などの基礎物理を述べている。また、シングルイベントが如何にして生成されるかを考察し、再構成画像からシングルイベントを計算する手法を述べている。

第 3 章では、2 つの画像再構成法、すなわち FBP 法と ML-EM 法について述べている。

第 4 章では、同時計数、シングルイベント取得のための実験方法を述べ、取得したシングルイベント情報の解析方法を示している。先ず、シングルイベント情報を利用した逐次近似法である ML-EM 法における最適逐次回数を求める方法 (Stopping Rule) を導出し、本法におけるパラメータの評価を行っている。シングルイベントを用いた逐次回数の Stopping Rule の手法は、本論文が初めての試みである。

第 5 章では、4 章で提案したシングルイベントを用いた逐次近似法に対する Stopping Rule の評価を行っている。本 Stopping Rule は、検出総カウントに対する依存性も少なく、多くのケースで利用できる手法であることを確認している。また、これまで提案されている他の Stopping Rule と比較し、本手法の有用性を示している。更にモンテカルロシミュレーションにより、様々な検出器リング径に対しての適用を試み、本法はリング径にも依存しない有効な手法であることを示している。

第 6 章では、実験のシングルイベントのスペクトルと再構成画像から得られたシングルイベントのスペクトルの比較を用いた PET 画像の改善を試みている。シングルイベント情報の測定値と計算値のずれから、画素値の部分容積効果の度合いを評価し、それに対する補正値を求め、これを用いて画素値を修正し、計算したシングルイベントのスペクトルと実験のシングルイベントのスペクトルとが一致するまで、PET 画像を繰り返し修正することによって、真の PET 画像が求められることを示した。シングルイベントのスペクトルを PET 画像に直接利用した方法は、これまで全く報告されおらず、本法は極めて斬新なアイディアである。

第 7 章は、結論である。

以上、要するに本論文は、これまで無用イベントとして考えられていたシングルイベントを、逐次近似法の Stopping Rule および再構成された陽電子濃度分布の修正などの画像の改善に直接利用できることを示し、これにより、少量の放射性同位元素薬剤の投与による低同時計数カウントでも、シングルイベントを用いる本法によれば、有用な画像が得られることを示した。これは、PET 診断における放射線被曝を極力低減するものであり、量子エネルギー工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。